

# 锅炉房余热回收利用技术及节能效益探讨

李贺

吉林省石油化工设计研究院

**摘要:**为提高锅炉房余热回收利用效率、提升余热回收利用技术应用的节能效益,文章在分析锅炉房原有烟气余热回收工艺的基础上,提出了“直接换热+吸收式热泵”的锅炉房烟气余热回收利用工艺方案。该方案投入运行后,锅炉房排烟温度大幅下降,能够从一定程度上提高一次热网水温度,与改造前相比节能效益显著上升。“直接换热+吸收式热泵”的工艺方案虽然会增加电能消耗和投入适量改造成本,但从长远角度来看,该技术的节能和经济可行性较强,值得推广。

**关键词:** 锅炉房; 余热回收利用; 节能效益

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.218

## 引言

锅炉房在电力、供热、钢铁等领域有着广泛应用,能满足社会生活、生产的许多需求。但锅炉房在运行的过程中,可能因余热回收不当,造成巨大能源损耗,还可能引起环境污染问题,因此有必要对锅炉房进行余热回收的相关改造,提高锅炉房余热的回收利用效率<sup>[1]</sup>。本文以锅炉房烟气余热回收利用为研究重点,做出了以下报道。

## 一、项目简介

国内某锅炉房的供热面积约398万m<sup>2</sup>,原安装了6台燃煤热水锅炉,单台锅炉额定产热量为29MW,供回水温度约130/70℃,额定工作压力1.6MPa。2019年,该锅炉房正式进行清洁能源改造,拆除了原有的燃煤锅炉,将主厂房内的锅炉替换为同等产热量的燃气热水锅炉,增

加了4台燃气热水锅炉。在项目立项决策阶段,通过对多种燃气锅炉的烟气余热回收利用方案进行比较,在综合考虑投资成本和场地空间的条件下,决定对该锅炉房的1#、2#锅炉进行节能改造,并通过1#、2#锅炉进行试运行,为其他燃气热水锅炉改造提供依据。该锅炉房原本采用的余热回收利用结束为直接利用节能器降低烟气温度,随后采用热泵烟气余热回收联合防冻液,将烟气温度控制在40℃以下,从烟道将高温烟气直接向外排放;利用空预器降低二网回水温度,同时加热锅炉燃烧需要的新风。

## 二、锅炉房运行现状

该锅炉房于2020年6月完成燃气热水锅炉改造,经过2020年9月~2021年3月试运行后,得出以下运行数据。

表1 燃气热水锅炉运行数据

时间	锅炉出力 (MW)	节能器进烟温度 (°C)	供水总管水温 (°C)	回水总管水温 (°C)	室外最高温度 (°C)	室外最低温度 (°C)
2020年9月	26.58	150	101.7	44.3	0	-5
2020年10月	23.74	141	98.7	43.0	3	-5
2020年11月	24.19	143	100.8	40.5	3	-5
2020年12月	25.60	148	97.6	45.1	0	-5
2021年1月	24.88	143	99.8	45.5	-3	-6
2021年2月	25.12	153	102.7	45	0	-6
2021年3月	23.97	148	105.2	55.9	0	-3

该锅炉房在运行过程中,燃气热水锅炉的排烟温度主要受锅炉负荷率影响,负荷率越高的锅炉排烟温度越高。结合该锅炉房在2020年9月~2021年3月的运行数据来看,锅炉排烟温度大概在145℃左右,原节能器可将锅炉排烟温度控制在49℃~53℃左右,但烟气温度在这一区间,仍然会使锅炉在运行过程中面临较高负荷,因此该锅炉房中的燃气热水锅炉亟须进行余热回收利用改造。

该锅炉房的几台燃气热水锅炉,在早期改造过程中,已经在锅炉的烟气管道上设置了冷凝器和省煤器,

锅炉回收在冷凝器与省煤器的作用下与烟气实现热交换,回水提升大概2℃左右后再次进入锅炉并加热升温。烟气经冷凝器后排烟温度约45℃,通过烟囱向大气排出,排烟温度过高,未能有效利用余热和水蒸气等资源。该项目在短期运行过程中,其排入到大气的大量水分子,从一定程度上加剧了霾污染问题。因此,在保证锅炉房正常运行的基础上,对部分锅炉利用余热回收技术进行改造,在回收余热的过程中,使烟气中的水蒸气降温并转化为大量冷凝水,经水处理装置处置后作为锅炉的补水再次利用,在减少供热成本的同时提高节能环

保效果，有利于在后续供热过程中创造更高经济效益。

### 三、锅炉房烟气回收利用技术改造方案

#### (一) 改造思路

根据锅炉房原有烟气回收利用工艺缺点，本文选择对该锅炉房的1#、2#燃气锅炉进行烟气余热回收利用改造，在原有工艺的基础上选用直接换热和热泵技术回收利用烟气中的余热，改造思路为：将锅炉冷凝器后排烟由旁路引出，整合后接入直接接触换热装置，与装置内的冷却液接触实现直接换热，直接回收烟气余热；随后利用热泵将烟气中回收的热量用于加热一次回水。高温的烟气从下部上升进入换热装置后从上部排出，烟气在这一环节会与直接换热装置喷淋的冷却液接触实现换热，烟气温度会大幅下降<sup>[2]</sup>。冷却液由于吸收了高温烟气中释放的大量热气，以及一定水蒸气潜热，在换热后冷却液温度会上升，利用热泵机组可以直接将其中的热量传递给一次供热回水，由此提高一次供热回水的温度，在供热温度恒定的条件下减少锅炉加热一次回水消耗的燃气量；冷却液利用烟气余热加热一次回水后会再次经冷凝器、省煤器对高温烟气进行降温，以此形成供热和余热回收利用的闭环。

#### (二) 改造流程

##### 1、装置与烟道改造

首先，拆除锅炉房和引风机之间的脱硫除尘塔，在原脱硫除尘塔的位置设置直接换热装置。其次，在1#和2#燃气热水锅炉原烟道的中间位置开始烟道改造，旁路分别引出两台锅炉的烟台，从两台锅炉旁路引出烟道，分别抽取烟气汇总后直接接入直接换热装置，本项目的直接换热装置选用喷淋热吸收塔，高温烟气经喷淋热吸收塔后完成热量交换，冷却且温度达到排放标准的烟气，直接通过烟道排出。

##### 2、水路改造

在锅炉的一次外网回水总管上设置调节阀，在调节阀前后设置旁路管道，将部分锅炉给水引入余热回收机组<sup>[3]</sup>。锅炉在运行的过程中，工作人员可以通过调节调节阀，使部分给水经余热回收机组实现加热，加热后的一次回水再送回锅炉，加热后经给水总管实现送热。在两台锅炉都停止运行时，需要先将对应旁路的给水阀门关闭，避免锅炉给水经热泵机组换热直接进入锅炉加热。

##### 3、安装热量表

锅炉在运行过程中，为了解锅炉运行情况以及余热回收利用情况，实时监测系统的流量及供回水温度，需要在适当位置安装温度传感器和流量计。每台锅炉的吸收式热泵加热的给水旁路上，都要设置一套温度传感器和流量计，此外在给水旁路出口管道以及进口管道上，都应安装一套温度传感器。

##### 4、装置参数

锅炉房烟气余热回收利用改造中使用的改造设备主要有喷淋吸收塔、直燃型吸收式热泵、水泵与各类阀

门，该烟气余热回收利用工艺方案的内容见表1。

表2 烟气余热回收利用改造中的主要设备

名称	规格和型号	数量
直燃型吸收式热泵	DG 765	1台
喷淋热吸收塔		1套
烟气风机	Y4-Y2-120	1台
蝶阀	DN400 PN16	1个
蝶阀	DN200 PN16	2个
循环泵（一次回水/热水侧）	KCL200-250	2台
循环泵（喷淋/热水侧）	KCH150-250	2台
热量表（余热水侧）	MULTICAL 602型DN250	1套

其中，直燃型吸收式热泵是改造工艺方案的核心，其技术参数见表3。

表3 吸收式热泵技术参数

	项目	单位	规格
热水	进出口温度	℃	55-80
	流量	t/h	263.3
	最高工作压力	MPa	0.8
	流量	m <sup>3</sup> /h	130
天然气	最高工作压力	MPa	0.88
	热值（低位）	kcal/Nm <sup>3</sup>	8290
	最大燃烧量	×10 <sup>3</sup> kcal/h	3992
	压力	kPa	300

#### (三) 锅炉运行

##### 1、前期准备

1#、2#燃气热水锅炉在运行前，工作人员要先做好准备工作。首先，工作人员要认真检查喷淋热吸收塔的外观，观察吸收塔外观是否存在缺陷；检查吸收塔上的螺栓是否松动，避免锅炉在运行发生冷凝水渗漏的问题。其次，改造后在首次启动烟气回收利用机组前，要先对各个管路进行清洁，避免泄漏、堵塞。锅炉在长期未启动的情况下，启动系统前应检查各条管路中是否存在杂质，只有在完成管路的清洁工作后才能通入介质<sup>[4]</sup>。最后，应检查全部的法兰密封面，确保其始终处于夹紧的状态。

##### 2、启动与运行

为保证系统平稳启动，工作人员可以按照以下顺序依次启动低温侧介质，随后按照相同顺序依次启动高温侧介质。

(1) 先将烟气换热器与水换热器出口的阀门关闭，按操作手册将换热器上的水阀门打开，在余热水侧充水使气体排出。

(2) 将热水测的总出水阀门关闭，缓慢地将总进水阀门开启，通过在热水测充水完成排气。

(3) 在主机的启停前后，系统的各个电动阀都由PLC下达控制指令，在确认可以开启或停止主机后，及

时对机组下达启动或停止运行的控制指令。

(4) 启动系统前, PLC会自动对设备的安全回路展开确认, 结合烟气回收量自动对主机的负荷进行调节。

(5) 机组与余热和热网水泵支持手动控制, 系统在运行时如果出现故障, 可以自动发出预警信息, 自动启动备用设备, 为系统持续运行提供支持。

(6) 主机在启动后, 排烟阀也将自动启动; 主机停止运行时, 排烟阀也会停止运行。

(7) 系统停止运行时, 主机和所有水泵都会停止运行, 各道阀门会自动关闭。

在烟气余热回收系统运行的过程中, 工作人员要认真记录系统的运行情况, 详细记录系统运行的热量、温度、压力、流量等数据; 日常检查系统的运行情况, 一旦发现故障或泄漏要立即上报, 由上级组织维修人员进行抢修; 日常检查系统的运行参数, 按照设计标准判断系统运行是否处于正常范围内, 及时发现问题并解决问题。

### 3、停止运行

采暖期内如果因为故障、检查、维护等需要临时停运, 需要先停止燃气锅炉, 在缓慢将采暖系统的回水管路阀门开启, 随后关闭烟气换热器与水换热器的进出口阀门, 二者的泄水阀和排气阀打开<sup>[5]</sup>。在非采暖期如果要长期停止运行, 也可以按照以上步骤进行操作; 在非采暖期停止运行时, 需要在机组停止运行后进行一次彻底清洗, 将换热器中存在的介质彻底清除, 避免在本年度再次开机时遇到阻碍。

## 四、锅炉房余热回收利用技术的效益分析

### (一) 环境效益

锅炉房1#、2#锅炉在经过烟气余热回收利用改造后, 在2020年9月~2021年12月进行了3个月的试运行, 与上年度相比累积节能约60434GJ, 燃气价格2.66元/Nm<sup>3</sup>, 燃气低位热值为34.3MJ/m<sup>3</sup>。在试运行的过程中, 直燃型吸收式热泵运行消耗的燃气量约为111.55万m<sup>3</sup>。该工艺联合运行时, 喷淋热吸收塔与直燃型吸收式热泵总耗电量约21.60kW·h<sup>[6]</sup>。在计算节能效益时, 在综合上涨的燃气成本和电费成本后, 结合1#、2#锅炉烟气余热回收利用系统带来的直接效益之间的差值, 确定烟气余热回收利用改造后带来的直接经济成本。经计算两台燃气热水锅炉在应用改造后的烟气余热回收利用系统后, 排烟温度从原本的40℃下降到了30℃左右, 能够满足相关标准规范; 该系统不仅能吸收烟气余热, 还能以换热后的冷却液作为介质确定热泵对一次热网回水进行加热, 可以将一次热网回水的温度提升大概5℃。试运行期间经数据采集和相关计算, 该系统直接创造的节能效益为496.00万元, 烟气余热回收利用系统改造中电费和燃气成本费用总计约311.62万元, 最终产生的节能效益约184.38万元, 相比于改造前节能率大幅提升, 1#、2#燃气热水锅炉烟气余热回收效益及费用结果见表4。

表4 环境效益计算结果

项目	单位	数值
节能量	GJ	60434
节能折合燃气量	m <sup>3</sup>	1761924
余热回收利用节能效益	万元	496.00
增加运行电费	万元	20.51
增加燃气电费	万元	291.11

该锅炉房经烟气余热回收利用改造后, 天然气燃烧产生的冷凝水量, 部分为锅炉燃烧供热节约了大量水资源, 采暖期供水量下降、天然气消耗量下降, 冷凝绿按40℃烟气温度取值, 63.5%, 每方天然气充分燃烧后产生的水量大概在1.6kg左右, 冷凝水实际回收率约80%, 节约天然气的水蒸气量约为1.85万t<sup>[7]</sup>。因此, 该项目还从一定程度上减少了SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>等物质的排放量, 进一步突出了锅炉房余热回收利用技术的环境效益。

### (二) 社会效益

该系统经喷淋热吸收塔中冷却液冷却高温烟气时, 高温烟气中大量水分子含量会转化为冷凝水, 经烟道排出的烟气中水分子含量较低, 能减轻对大气环境的影响, 降低锅炉房运行可能造成的霾污染, 有利于提高供热企业的整体形象, 落实环境保护工作, 因此利用烟气余热回收利用技术对锅炉房进行改造具有较强的社会效益。

### 结语

综上所述, 供热企业在改造传统燃煤热水锅炉的同时, 还需要认识到不科学的余热回收利用对环境效益、社会效益、经济效益的影响, 在燃气热水锅炉运行过程中, 通过调查烟气排放温度, 明确是否有烟气余热回收利用改造的必要。本研究的锅炉房因排放烟气的温度过高, 锅炉燃气消耗量较大, 并且还会产生一定的环境污染, 采用“直接换热+吸收式热泵”对锅炉房的两台锅炉进行了余热回收利用改造, 经试运行验证该工艺方案与传统余热回收工艺方案相比, 在环境、经济和社会效益上的优势非常明显, 每年度能为供热企业节省大量供热成本, 建议在实践中推广。

### 参考文献

- [1] 陈江涛, 负英, 彭丹, 吴珂, 孙为民. 城市燃气锅炉房供热能力和余热利用[J]. 能源研究与管理, 2020, (02): 105-107.
- [2] 宋春节, 赵杨阳, 李宁, 陈鸣镛. 基于市政热网的烟气余热回收消纳与区域锅炉房互联互通方案研究[J]. 区域供热, 2020, (01): 125-130.
- [3] 杜雷. 中国国家博物馆锅炉定期排污余热回收可行性方案[J]. 科技风, 2019, (16): 174.
- [4] 郎晨曦. 沈阳市泉源锅炉房烟气余热回收改造工程评价与分析[D]. 沈阳建筑大学, 2019.
- [5] 崔佳佳. 锅炉房余热回收技术应用解析[D]. 北京建筑大学, 2018.
- [6] 简锐, 马龙. 浅谈节能型锅炉房的电气自动化设计[J]. 科技资讯, 2017, 15(28): 49-50.
- [7] 王吉飞, 刘斐, 郭中伟. 燃气锅炉房烟气余热回收技术应用实践[J]. 住区, 2017, (S1): 133-136.